

## Insulating tape useful for making insulating sleeve for electric wire

Patent Number: DE19531955  
Publication date: 1997-03-06  
Inventor(s): PIECHA GERHARD DIPL ING (DE); ROGLER WOLFGANG DIPL CHEM DR (DE);  
SWIATKOWSKI GERNOT DIPL ING DR (DE)  
Applicant(s): SIEMENS AG (DE)  
Requested Patent: ☐ DE19531955  
Application Number: DE19951031955 19950830  
Priority Number(s): DE19951031955 19950830  
IPC Classification: H01B3/00; C08L63/00; C08K5/205; C08J5/24; C08J3/24; C08K3/34; C08K5/01;  
C08L83/04; C08L75/04; H02K3/30; H02K15/12  
EC Classification: C08G59/40B2B, C08G18/00D, C08G18/28D6M, C08G59/68D, H01B3/04, H01B3/30B,  
H01B3/40, H02K3/30  
Equivalents:

### Abstract

Insulating tape, for making insulating sleeves for electric wires impregnated with a reactive resin compsn. based on epoxide and isocyanate by the VPI (vacuum conditioning and pressure impregnation) technique, contains dielectric inorganic material, a binder and an amine accelerator for curing the impregnating resin. The accelerator is a reaction prod. (I) of a mono-OH-functional tert. amine (II) and an aromatic polyisocyanate (III) and is free from OH and NCO gps..

Data supplied from the esp@cenet database - I2





⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 195 31 955 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 195 31 955.9  
㉑ Anmeldetag: 30. 8. 95  
㉒ Offenlegungstag: 6. 3. 97

⑥ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H01 B 3/00**  
C 08 L 63/00  
C 08 K 5/205  
C 08 J 5/24  
C 08 J 3/24  
C 08 K 3/34  
C 08 K 5/01  
C 08 L 83/04  
C 08 L 75/04  
H 02 K 3/30  
// H02K 15/12

DE 195 31 955 A 1

⑦ Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑧ Erfinder:  
Piecha, Gerhard, Dipl.-Ing., 90439 Nürnberg, DE;  
Rogler, Wolfgang, Dipl.-Chem. Dr., 91096  
Möhrendorf, DE; Swiatkowski, Gernot, Dipl.-Ing. Dr.,  
13629 Berlin, DE

⑤ Isolierband zur Herstellung einer imprägnierten Isolierhülse für elektrische Leiter

⑤ Bei einem Isolierband, das zur Herstellung einer mit einem Tränkharz in Form einer Reaktionsharzmasse auf Epoxid/Iso-cyanat-Basis nach der VPI-Technik imprägnierten Isolierhül-se für elektrische Leiter dient und das durchschlagsfestes anorganisches Material, ein Bindemittel und einen amini-schen Beschleuniger für die Härtung des Tränkharzes ent-hält, ist der Beschleuniger ein OH- und NCO-gruppenfreies Umsetzungsprodukt aus einem monohydroxyfunktionellen tertiären Amin und einem aromatischen Polyisocyanat.

DE 195 31 955 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Isolierband zur Herstellung einer mit einem Tränkharz in Form einer Reaktionsharzmasse auf Epoxid/Isocyanatbasis nach der VPI-Technik imprägnierten Isolierhülse für elektrische Leiter, das durchschlagsfestes anorganisches Material, ein Bindemittel und einen aminischen Beschleuniger für die Hartung des Tränkharztes enthält.

Rotierende elektrische Maschinen werden heutzutage im allgemeinen für die Temperaturklasse F gefertigt, d. h. für thermische Belastungen bis zu 155°C. Insbesondere bei Bahnmotoren wird — aufgrund kompakterer Bauweise und höherer Leistung — zunehmend auch die Temperaturklasse H (Grenzüber Temperatur von 180 K nach VDE 0535, Teil 1) ausgeführt.

Die Wicklungen von rotierenden elektrischen Maschinen und Bahnmotoren bestehen aus einzelnen Wicklungselementen, die sich aus mehreren gegeneinander isolierten Teileleitern zusammensetzen, welche von einer Hauptisolierung umgeben sind. Die Hauptisolierung ist aus mehreren Lagen eines Isolierbandes, im allgemeinen ein Glimmerband, aufgebaut, das durch Verkleben von Glimmer auf einer flexiblen Unterlage, wie Glasseide, hergestellt wird. Zur Herstellung einer Isolierhülse für elektrische Leiter, beispielsweise für Wicklungselemente einer elektrischen Maschine, wird das Isolierband um die Wicklungselemente gewickelt. Diese "trockene Wicklung" wird bei erhöhter Temperatur (ca. 30 bis 70°C) im Vakuum konditioniert und dann mit einem Tränkharz unter Überdruck imprägniert. Das Imprägnieren erfolgt dabei vorzugsweise nach der VPI-Technik, d. h. nach dem Vakuum-Druck-Imprägnierverfahren. Zur Herstellung von Wicklungsisolierungen der Klasse H werden als Isoliersysteme Siliconharze und Esterimidharze verwendet.

Um die geforderten mechanischen Eigenschaften zu erreichen, bedarf es aber zusätzlicher Maßnahmen zur Verstärkung. Als Tränkharze sind in letzter Zeit auch Systeme auf der Basis von Epoxiden und Isocyanaten sowie auf der Basis von Isocyanaten und ungesättigten Verbindungen bekanntgeworden.

Im Isolierband ist ein Reaktionsbeschleuniger enthalten, der bewirkt, daß das beim Imprägnieren in das Band eindringende Tränkharz bei niedrigen Temperaturen (ca. 30 bis 40°C) innerhalb von etwa 4 bis 6 h so geliert, daß nach dem Herausnehmen der Wicklung aus dem Tränkbad und beim Aufheizen auf die Nachhärtungstemperatur das Tränkharz nicht wieder aus der Isolierung herausläuft. Aufgrund von herausgelaufenem Tränkharz erzeugte mangelhafte Isolierungen haben nämlich ungenügende elektrische Eigenschaften.

Aus Glimmerbändern gewickelte Isolierungen für elektrische Leiter in Hochspannungsmaschinen und Bahnmotoren für die Klasse H werden mit Reaktionsharzsystemen in der Ganztränktechnik imprägniert. Mit Epoxid/Isocyanat-Tränkharzsystemen (EP/IC-Harze) können, gegebenenfalls durch Zusatz olefinisch ungesättigter Verbindungen (ohne aktiven Wasserstoff), Isolierformstoffe erzeugt werden, welche die Anforderungen der Klasse H erfüllen (siehe dazu: DE-OS 23 08 802, DE-OS 24 32 952, DE-OS 24 44 458 und DE-OS 27 22 400). Die Verarbeitung derartiger EP/IC-Harze nach der VPI-Technik stellt besonders an den Reaktionsbeschleuniger extrem hohe Anforderungen. Zur Gewährleistung kurzer Imprägnier- bzw. Gelierzyklen und geringer Abtropfverluste nach dem Imprägniervorgang sowie zur Verringerung des Energieaufwandes durch gemäßigte Imprägniertemperaturen werden nämlich hochreaktive Beschleuniger benötigt. Da die Konditionierung der zu imprägnierenden Teile im Vakuum durchgeführt wird, muß der im Isolierband enthaltene Reaktionsbeschleuniger einen ausreichend niedrigen Dampfdruck besitzen. Niedrigsiedende Beschleunigerkomponenten können aber bei der Konditionierung aus dem Isolierband ausgasen und auf diese Weise die Fertigungssicherheit negativ beeinflussen sowie die Einhaltung arbeitshygienischer Auflagen gefährden. Da hochreaktive Beschleuniger eine gute Migrationsfähigkeit besitzen und deshalb die geforderte Lagerstabilität des Tränkharzvorrates nicht mehr gewährleistet werden kann, wurden bereits Versuche mit Reaktionsbeschleunigern unternommen, die in das Isolierband eingebaut werden können. Durch derartige einbaubare Beschleuniger sollte sich die Gebrauchsdauer der Imprägnierharzmischungen deutlich erhöhen lassen.

Wie bereits erwähnt, werden für die Herstellung von wärmebeständigen Isoliersystemen der Klasse H — neben Esterimid- und Siliconharzen — sogenannte EP/IC-Harze eingesetzt (siehe dazu auch: DE-OS 36 44 382 und DE-OS 39 04 156). Die aus diesen EP/IC-Harzen, die olefinisch ungesättigte Verbindungen enthalten können, hergestellten Formstoffe zeichnen sich durch eine hohe thermische Beständigkeit sowie durch gute mechanische und dielektrische Eigenschaften aus, auch bei höheren Temperaturen. Diese Eigenschaften werden den Formstoffen hauptsächlich durch im Netzwerk überwiegend vorhandene Isocyanuratstrukturen verliehen. Die beim Netzwerkaufbau erwünschte Bildung von Isocyanuratringen wird dabei entscheidend durch den verwendeten Beschleuniger beeinflusst. Hierfür werden üblicherweise tertiäre Amine und Imidazole eingesetzt, die selbst bei gemäßigten Temperaturen aktiv sind und die Vernetzung des Harzsystems initiieren (siehe dazu: EP-PS 0 130 454). Besonders geeignete Reaktionsbeschleuniger sind aliphatische und aromatische tertiäre Mono-, Di- und Triamine sowie substituierte Imidazole und andere N-substituierte Heterocyklen.

Die Anhängung von EP/IC-Harzen der genannten Art wird bei Temperaturen im Bereich von Raumtemperatur bis ca. 50°C durchgeführt. Die Gründe hierfür sind die Einhaltung der MAK-Grenzwerte für die verwendete Isocyanatkomponente bzw. die olefinisch ungesättigte Verbindung (Fertigungssicherheit), die Einsparung von Energiekosten, wenn ein großer Tränkharzvorrat nur auf eine niedrigere Temperatur aufgeheizt werden muß (ca. 40°C), und die Erhöhung der geforderten Viskositätsstabilität der Tränkharmischung.

Da die Viskositätsstabilität eine der wichtigsten Anforderungen an Tränkharzsysteme darstellt, werden ständig Anstrengungen zu deren Verbesserung unternommen. Zur Imprägnierung eingesetzte Reaktionsharze, die einen latenten Reaktionsbeschleuniger beinhalten (siehe dazu: EP-PS 0 130 454), weisen zwar ohne thermische Belastung eine ausgezeichnete Lagerstabilität auf. Um diese Reaktionsharze in der Wicklungsisolierung in einem vertretbaren Zeitraum zum Geliern zu bringen, müssen aber höhere Temperaturen angewendet werden. Dies kann jedoch bereits nach wenigen Tränkvorgängen zu einem deutlichen Viskositätsanstieg führen, so daß die Fertigungssicherheit nicht mehr vollständig gewährleistet ist.

Aus diesem Grunde wird, wie bereits erwähnt, der Reaktionsbeschleuniger nicht m hr im Tränkharzvorrat vorgelegt, sondern an derjenigen Stelle deponiert, wo der Geliervorgang bevorzugt initiiert werden soll, nämlich im Isolierband (siehe dazu beispielsweise: EP-OS 0 355 558). Dies kann auf verschiedene Weise erfolgen. Entweder wird das Isolierband mit einer den Reaktionsbeschleuniger enthaltenden Lösung behandelt (durch Bestreichen, Besprühen oder Eintauchen) oder die für den Tränkprozeß vorbereiteten, mit Isolierband umwickelten Maschinenteile werden in eine Beschleunigerlösung getaucht. Anschließend wird dann in beiden Fällen das Lösemittel wieder entfernt.

In Isolierbändern adsorptiv gebundene Beschleuniger besitzen oft die Eigenschaft, während des Imprägniervorganges in das Tränkharz zu migrieren, besonders bei höheren Temperaturen. Diese stufenweise Kontaminierung des Harzvorrates ist mit einem stetigen Anstieg der Viskosität verbunden, der bei sehr reaktiven Beschleunigern stärker ausgeprägt ist. Es besteht daher, wie bereits erwähnt, Interesse an Reaktionsbeschleunigern, die in den Isolierbandkleber chemisch einbaubar sind und dadurch die geforderte Fertigungssicherheit gewährleisten.

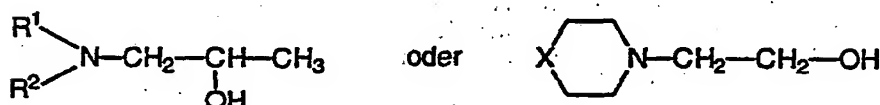
Mit der EP/IC-Isoliertechnik liegt eine weniger aufwendige und damit kostengünstige Alternative zu Esterimid- und Siliconharzen vor, die das Eigenschaftsniveau dieser Harze zum Teil übertrifft. Bei dieser Technik werden derzeit aber Isolierbänder auf Siliconbasis eingesetzt, die mit dem EP/IC-Tränkharz nicht uneingeschränkt verträglich sind. Ferner treten bei den bisher verwendeten reaktiven Beschleunigern, die aufgrund eines niedrigen Dampfdruckes für die Verarbeitung nach der VPI-Technik geeignet erscheinen, nach dem Geliervorgang deutliche Abtropfverluste auf, welche die dielektrischen Eigenschaften der Wicklungsisolierung negativ beeinflussen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Isolierband der eingangs genannten Art, das einen die Härtingsreaktion des EP/IC-Tränkharzes anregenden Beschleuniger enthält, derart auszugestalten, daß es zusammen mit dem Tränkharz ein Isoliersystem der Temperaturklasse H mit guten Verbundeigenschaften ergibt. Dabei ist erforderlich, daß der im Isolierband enthaltene Reaktionsbeschleuniger eine ausreichende Reaktivität besitzt, so daß beispielsweise nach einer Gelerzeit von 3 bis 5 Stunden bei ca. 30 bis 40°C beim VPI-Verfahren keine Abtropfverluste auftreten. Ferner muß der Beschleuniger VPI-kompatibel sein, um die Fertigungssicherheit zu gewährleisten, und außerdem darf er während des Tränkprozesses nicht in den Tränkharzvorrat migrieren, damit die geforderte Viskositätsstabilität von etwa sechs Monaten (bei Raumtemperatur) gewährleistet ist.

Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß der Beschleuniger ein OH- und NCO-gruppenfreies Umsetzungsprodukt aus einem monohydroxyfunktionellen tertiären Amin und einem aromatischen Polyisocyanat ist.

Beim Gegenstand nach der vorliegenden Erfindung ist folgendes von Bedeutung. Die bislang zur Reaktionsbeschleunigung eingesetzten hochreaktiven Amine weisen im allgemeinen einen zu hohen Dampfdruck auf und sind damit für die Fertigung von Isolierhülsen nach der VPI-Technik nicht geeignet. Bei den Beschleunigern nach der Erfindung, die Umsetzungsprodukte von hydroxyfunktionellen Aminen mit Polyisocyanaten sind, wird dagegen durch die Molekülvergrößerung eine Absenkung des Dampfdruckes bewirkt. Damit ist eine Verarbeitbarkeit nach der VPI-Technik gewährleistet.

Die Aminkomponente des Reaktionbeschleunigers nach der Erfindung besitzt vorteilhaft folgende Struktur:

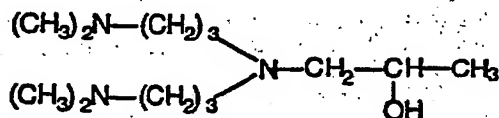


mit  $\text{X} = \text{CH}_2\text{O}$  oder  $\text{NR}^3$ ,  
 $\text{R}^1, \text{R}^2 = \text{C}_1\text{-bis C}_8\text{-Alkyl}$ ,

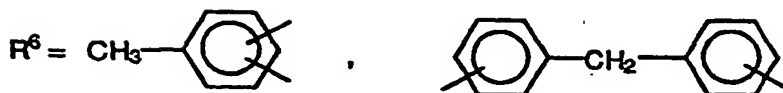


und  $\text{R}^3, \text{R}^4, \text{R}^5 = \text{C}_1\text{-bis C}_8\text{-Alkyl}$ ,  
 $x = 2 \text{ bis } 5$ .

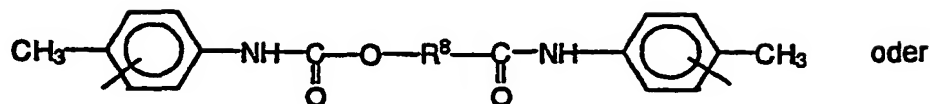
Vorzugsweise ist das Amin ein N-substituiertes 1-Amino-2-hydroxypropan, insbesondere Bis-(N,N-dimethylaminopropyl)-1-aminopropan-2-ol, d. h. eine Verbindung folgender Struktur:



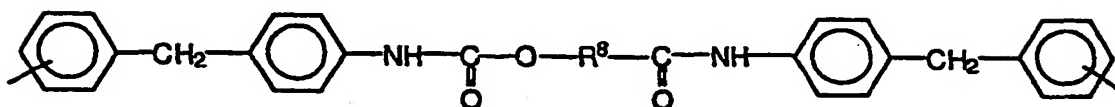
Die Isocyanatkomponente (Polyisocyanat), bei der die NCO-Gruppen an aromatischen Kernen sitzen, ist vorteilhaft ein Diisocyanat der Struktur  $\text{OCN}-\text{R}^6-\text{NCO}$  oder ein Triisocyanat der Struktur  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}(\text{R}^7-\text{NCO})_3$ , wobei folgendes gilt:



5



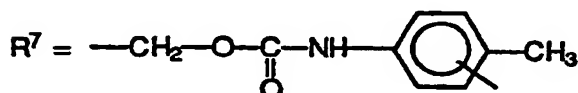
10



15

mit  $R^8 = [(\text{CH}_2)_m - \text{O}]_n -$ ,  
 $m = 2 \text{ oder } 3 \text{ und } n = 1 \text{ bis } 10$ ;

20



25

Vorzugsweise sind die Polyisocyanate urethanmodifizierte Di- oder Triisocyanate, d. h. sie weisen Urethangruppierungen  $-\text{NH}-\text{CO}-\text{O}-$  auf.

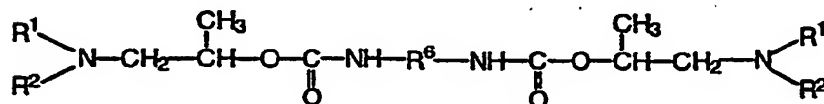
30

Die Umsetzung zwischen dem hydroxyfunktionellen Amin und dem Polyisocyanat, bei der Urethangruppierungen gebildet werden, verläuft beispielsweise nach folgender Reaktionsgleichung:

35



40



45

Die Umsetzung selbst wird in einem getrockneten, niedrigsiedenden Lösemittel, wie Dichlormethan, durchgeführt. Dabei wird im allgemeinen eine Lösung des Polyisocyanats unter Rühren zu einer Lösung des Amins getropft. Da die OH-funktionellen Amine eine sehr hohe Basizität besitzen, ist kein Katalysator erforderlich. Außerdem kann die Umsetzung bei Raumtemperatur durchgeführt werden. Es ist aber notwendig, daß im Endprodukt keine nicht-umgesetzten OH- bzw. NCO-Funktionalitäten verbleiben, d. h. das Umsetzungsprodukt soll im wesentlichen frei von Hydroxylgruppen (OH) und Isocyanatgruppen (NCO) sein.

50

Die Umsetzungsprodukte der monohydroxyfunktionellen tertiären Amine mit den aromatischen Polyisocyanaten sind hochviskose braune Flüssigkeiten; sie zeichnen sich durch eine gute Verarbeitbarkeit und eine gute Kompatibilität mit EP/IC-Tränkharzen aus. Umsetzungsprodukte aus urethanmodifizierten Polyisocyanaten zeigen überraschenderweise auch sehr gute Eigenschaften als Glimmerbandkleber. In diesem Fall ist der Reaktionsbeschleuniger quasi chemisch in das Bindemittel des Isolierbandes eingebaut.

55

Die Reaktivität des beim VPI-Prozeß in das Isolierband eingedrungenen Tränkharzes hängt unter anderem vom Gehalt des Isolierbandes an beschleunigenden Funktionen ab. Die Einstellung der Menge an beschleunigenden Funktionen ist über den Beschleunigergehalt sowie über das Molverhältnis von Amin- und Isocyanatkomponente des Beschleunigers einstellbar. Da bei dessen Herstellung jeweils eine OH-Gruppe mit einer NCO-Gruppe umgesetzt wird (und keine nicht-umgesetzten Funktionalitäten zurückbleiben sollen), führen Umsetzungen mit Polyisocyanaten mit einem hohen NCO-Wert zu Produkten mit einem hohen Gehalt an beschleunigenden Funktionen, d. h. tertiären N-Atomen.

60

Der Gehalt des Isolierbandes an Beschleuniger beträgt vorteilhaft zwischen 0,5 und 20 g/m<sup>2</sup>, vorzugsweise zwischen 1 und 10 g/m<sup>2</sup>, jeweils bezogen auf das Isolierband. Allgemein ist erforderlich, daß im Isolierband eine ausreichend hohe Beschleunigerkonzentration vorliegt, um in Gelen des in die Isolierung eingedrungenen Tränkharzes bei niedriger Temperatur innerhalb der gewünschten Zeitspanne zu gewährleisten.

Die Isolierbänder nach der Erfindung mit den speziellen Reaktionsbeschleunigern bieten den weiteren Vorteil, daß herkömmliche Bandkleber, d. h. Bindemittel, verwendet werden können, beispielsweise Silicon- und Urethankleber. Bei geeigneter Wahl der Isocyanatkomponente können die Umsetzungsprodukte aus hydroxyfunktionellem Amin und Polyisocyanat aber sogar selbst als Bindemittel verwendet werden. Der Gehalt des Isolierbandes an Bindemittel beträgt im übrigen im allgemeinen etwa zwischen 5 und 20 g/m<sup>2</sup>, bezogen auf das Isolierband. 5

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Isolierbänder nach der Erfindung bestehen darin,

- daß das anorganische Material aus Glimmerblättchen oder Feinglimmerschichten besteht,
- daß das Bindemittel ein Silicon- oder Urethankleber ist und 10
- daß das Tränkharz zusätzlich eine olefinisch ungesättigte Verbindung enthält, insbesondere Styrol oder Vinyltoluol (Methylstyrol).

Die Isolierbänder dienen vorzugsweise zur Herstellung von Isolierhülsen für die Wicklungsstäbe bzw. Spulen elektrischer Maschinen. 15

Mittels der speziellen Reaktionsbeschleuniger nach der Erfindung hergestellte Isolierformstoffe auf EP/IC-Basis zeichnen sich durch sehr gute Verbundeigenschaften aus, die vor allem auf die hohe Kompatibilität zwischen dem Bindemittel und dem Tränkharz zurückzuführen sind. So wird erst durch diese Reaktionsbeschleuniger eine Verarbeitung des EP/IC-Tränkharzes nach der VPI-Technik ermöglicht. Weiterhin wird dadurch die Tränkbildstabilität und die Lagerfähigkeit der beschleunigerhaltigen Isolierbänder verbessert. 20

Anhand von Ausführungsbeispielen soll die Erfindung noch näher erläutert werden.

#### Beispiel 1

#### Herstellung von Reaktionsbeschleunigern 25

Zur Herstellung der Beschleuniger dient das monohydroxyfunktionelle tertiäre Amin Bis-(N,N-dimethylaminopropyl)-1-aminopropan-2-ol (OH-Wert: 0,408 mol/100 g), im folgenden kurz "Amin" genannt. Dabei wird zu einer Lösung von 0,2 mol des Amins in 50 ml getrocknetem Dichlormethan bei Raumtemperatur unter Rühren langsam eine Lösung von 0,1 mol eines Polyisocyanats (siehe dazu Tabelle 1) in 15 ml getrocknetem Dichlormethan getropft. Nach beendeter Reaktion wird das Lösemittel im Vakuum entfernt (bis zur Gewichtskonstanz). Die erhaltenen Umsetzungsprodukte — mittel- bis hochviskose, bräunlich gefärbte Flüssigkeiten — sind in Tabelle 1 charakterisiert. 30

Tabelle 1 35

Reaktions- beschleuniger (RB)	RB 1 *)	RB 2 *)	RB 3 *)
Masse- verhältnis Amin/RB	0,64	0,42	0,16
Viskosität	mittelviskos	hochviskos	zähelastisch
Lösemittel	Ethanol, Aceton, Tetrahydrofuran	Ethylacetat, Aceton, Tetra- hydrofuran	Ethylacetat, Methylethyl- keton, Tetra- hydrofuran
Löslichkeit im Tränkharz	gut	mäßig	mäßig

\*) Polyisocyanat-Komponente

RB 1: Diphenylmethandiisocyanat (NCO-Gehalt: 33 %) 60

RB 2: urethanmodifiziertes Triisocyanat (NCO-Gehalt: 13 %)

RB 3: urethanmodifiziertes Toluylendiisocyanat

(NCO-Gehalt: 3,5 %) 65

## Beispiel 2

## Reaktivität von EP/IC-Tränkharmischungen

5 Zur Untersuchung der Reaktivität werden die Gelierzeiten von EP/IC-Tränkharmischung n, welche die Reaktionsbeschleuniger nach Beispiel 1 enthalten, bei verschiedenen n Temperaturen bestimmt. Dazu werden Gemische aus 100 Masseteilen Diphenylmethandiisocyanat (NCO-Wert: 0,793 mol/100 g) und 3,2 Masseteilen Bisphenol-A-diglycidylether (EP-Wert: 0,57 mol/100 g) 6 h auf 90°C erhitzt; nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur werden 30 Masseteile Styrol zugemischt. Den dabei erhaltenen EP/IC-Tränkharmischungen wird  
10 jeweils eine solche Menge an Reaktionsbeschleuniger zugesetzt, daß sie in der Mischung einem Anteil an der tert.-Amin-Komponente von 1,33 Masseteilen bzw. 1,0 Masse-% entspricht. Die Zugabe des Beschleunigers erfolgt bei Raumtemperatur unter Rühren innerhalb von 10 min bzw. innerhalb eines zur vollständigen Auflösung erforderlichen Zeitraumes.

Zur Messung der Gelierzeit werden Reagenzgläser, die mit der beschleunigerhaltigen Tränkharmischung gefüllt sind, in auf 30°C, 50°C bzw. 70°C eingestellte Thermostaten eingetaucht. Der Gelierpunkt ist dann erreicht, wenn der Harzspiegel bei horizontaler Lage des Reagenzglases innerhalb von 10 bis 15 s nicht mehr beweglich ist. Eine Stunde nach dem Gelierende werden die 30°C-Proben für 5 min auf eine Temperatur von ca. 100°C erhitzt. Durch Einstechen eines Spatels in die erwärmte Probe wird dann überprüft, ob eine Verflüssigung des gelierten Tränkharmes eingetreten ist, d. h. ob die beim Gelieren erfolgte Polymerisation reversibel ist  
20 (Vorliegen eines B-Zustandes). Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefaßt, wobei — zum Vergleich — auch das Amin aufgeführt ist.

Tabelle 2

Reaktions- beschleuniger (Konzentration)	Gelierzeit in min bei			Wieder- verflüssigung bei 100°C
	30°C	50°C	70°C	
Amin (1,0 %)	55	15	7	nein
RB 1 (1,6 %)	70	25	10	nein
RB 2 (2,4 %)	30	13	6	nein
RB 3 (6,2 %)	120	85	40	nein

## Beispiel 3

## Untersuchung des Gelierverhaltens bei Isolierbändern

In entsprechender Weise wie bei technischen Tränkverfahren werden beschleunigerhaltige Isolierbänder in ein beschleunigerfreies Tränkharm getaucht, und zwar bei definierten Temperaturen. Dazu werden Glimmerbänder verwendet, die aus je einer Lage Feinglimmer (Flächengewicht: 140 g/cm<sup>2</sup>) und Glasseidegewebe (Flächengewicht: 35 g/m<sup>2</sup>) aufgebaut sind; dazwischen befindet sich ein Bandkleber (Gehalt: 10 bis 12 g/m<sup>2</sup>). Die Glimmerbänder werden mit dem Reaktionsbeschleuniger versehen (Anteil an tert.-Amin-Komponente: ca. 1,0 g/m<sup>2</sup>) und auf kleine Stahlzylinder aufgewickelt. Diese Proben werden 16 h bei Raumtemperatur im Vakuum (< 1 mbar) konditioniert und dann in das Tränkharm eingetaucht. In Abständen von einer Stunde wird jeweils eine der Proben aus dem Tränkharm genommen, und dann wird die Kraft ermittelt, die zum Abrollen des Glimmerbandes vom Stahlzylinder erforderlich ist. Der Zeitpunkt des Gelierens ist bei einer Tränkzeit erreicht, bei der eine Abrollkraft von 2 bis 3 N erforderlich ist. Hier zieht das Harz nämlich deutlich Faden, d. h. es wird ein fortgeschrittener Geliervorgang angezeigt; die Glimmerbandröllchen sind dann innen trocken. Die ermittelte Abrollkraft ist ein indirektes Maß für den Gelierzustand sowie für die Qualität des Verbundes in der Isolierung.  
55 In Tabelle 3 ist die Abrollkraft als Funktion der Gelierdauer angegeben, wobei — zum Vergleich — auch die Werte für das Amin angegeben sind.



Tabelle 3

Gelieldauer in h	Abrollkraft in N					
	Amin (1,0 g/m <sup>2</sup> )		RB 1 (1,56 g/m <sup>2</sup> )		RB 3 (6,25 g/m <sup>2</sup> )	
	30°C	50°C	30°C	50°C	30°C	50°C
3	1,0	3,0	1,5	3,0	< 0,5	3,0
4	2,0	3,5	2,0	3,5	1,0	4,0
5	3,0		3,0		1,5	
6					2,0	
7					2,5	

Beispiel 4

## Formstoffeigenschaften nach thermisch-oxidativer Alterung

Zur Untersuchung der mechanischen und thermischen Eigenschaften von EP/IC-Isolierformstoffen wird eine EP/IC-Tränkharmischung entsprechend Beispiel 2 verwendet, die 1,04 Masseteile an Reaktionsbeschleuniger RB 1 enthält. Mit dieser Harzmischung werden in Mehrfachnormstabformen aus Stahl Normstäbe hergestellt (DIN 7708). Diese Normstäbe werden nach folgendem Temperaturprogramm gehärtet: 6 h bei Raumtemperatur, 16 h bei 60°C, 1 h bei 80°C, 2 h bei 100°C, 2 h bei 120°C, 2 h bei 140°C, 2 h bei 160°C, 2 h bei 180°C und 24 h bei 200°C.

An den Normstäben wird dann die Biegefestigkeit, die Schlagzähigkeit (Schlagbiegefestigkeit) und die Wärmeformbeständigkeit (Martensstemperatur) sowie der Gewichtsverlust bestimmt, und zwar vor und nach einer thermischen Alterung — jeweils für 16 Wochen — bei 180, 200, 220 und 240°C. Es zeigt sich, daß bei der Alterung die mechanischen Eigenschaften abnehmen, während die Formbeständigkeit unverändert bleibt. Der Gewichtsverlust bleibt bei 220°C bis zu 16 Wochen unterhalb 5% und weist damit, wie die anderen Ergebnisse, auf die gute thermische Beständigkeit des Isolierstoffsystems hin. Die Meßergebnisse sind im einzelnen in Tabelle 4 zusammengefaßt, wobei zunächst jeweils die Anfangswerte und dann die Werte nach 16wöchiger Alterung bei den verschiedenen Temperaturen angegeben sind.

Tabelle 4

	Biegefestig- keit N/mm <sup>2</sup>	Schlagbiege- festigkeit Nmm/mm <sup>2</sup>	Gewichts- verlust %	Martens- temperatur °C
	125	8,1	-	> 220
180°C	118	5,5	2,1	> 220
200°C	100	5,0	3,3	> 220
220°C	100	5,0	4,8	> 220
240°C	90	4,8	6,5	> 220

## Patentansprüche

1. Isolierband zur Herstellung einer mit einem Tränkharz in Form einer Reaktionsharzmasse auf Epoxid/Isocyanatbasis nach der VPI-Technik imprägnierten Isolierhülle für elektrische Leiter, das durchschlagsfestes anorganisches Material, ein Bindemittel und einen aminischen Beschleuniger für die Hartung des Tränkharges enthält, dadurch gekennzeichnet, daß der Beschleuniger ein OH- und NCO-gruppenfreies Umsetzungsprodukt aus einem monohydroxyfunktionellen tertiären Amin und einem aromatischen Polyisocyanat ist.

2. Isolierband nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das tertiäre Amin folgende Struktur besitzt



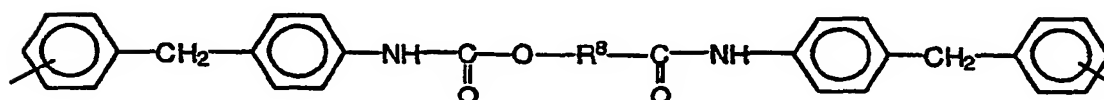
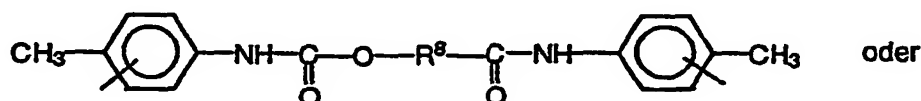
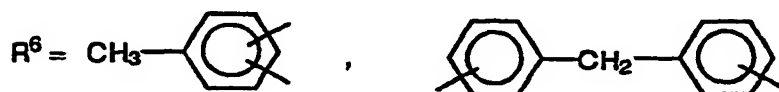
mit  $X = CH_2, O$  oder  $NR^3$ ,  
 $R^1, R^2 = C_1\text{- bis } C_8\text{-Alkyl}$ ,



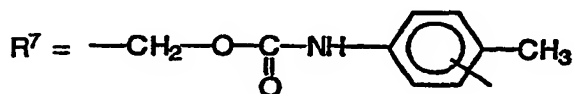
und  $R^3, R^4, R^5 = C_1\text{- bis } C_8\text{-Alkyl}$ ,  
 $x = 2$  bis  $5$ .

3. Isolierband nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Amin ein N-substituiertes 1-Amino-2-hydroxypropan ist, insbesondere Bis-(N-N-dimethylaminopropyl)-1-aminopropan-2-ol

4. Isolierband nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Polyisocyanat ein Diisocyanat der Struktur  $OCN-R^6-NCO$  oder ein Triisocyanat der Struktur  $CH_3-CH_2-C(R^7-NCO)_3$  ist, wobei folgendes gilt:



mit  $R^8 = -[(CH_2)_m-O]_n-$ ,  
 $m = 2$  oder  $3$  und  $n = 1$  bis  $10$ ;



5. Isolierband nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Polyisocyanat ein urethanmodifiziertes Di- oder Triisocyanat ist.

6. Isolierband nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Gehalt an Beschleuniger zwischen  $0,5$  und  $20 \text{ g/m}^2$  beträgt, vorzugsweise zwischen  $1$  und  $10 \text{ g/m}^2$ .

7. Isolierband nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das anorganische Material aus Glimmerblättchen oder Feinglimmerschichten besteht.

8. Isolierband nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Bindemittel ein Silicon- oder Urethankleber ist.

9. Isolierband nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Tränkharz zusätzlich eine olefinisch ungesättigte Verbindung enthält, insbesondere Styrol oder Vinyltoluol.

10. Verwendung des Isolierbandes nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9 zur Herstellung von Isolierhüllen für die Wicklungsstäbe bzw. Spulen elektrischer Maschinen.